

Módulo: Recursos hídricos

**CAUDALES EN RIOS.  
INSTRUMENTOS DE  
MEDIDA Y REDES.**

CEDEX

# Sumario

<b>CAUDALES EN RÍOS. INSTRUMENTOS DE MEDIDA Y REDES. ....</b>	<b>4</b>
1. CAUDALES EN RÍOS. ....	5
2. INSTRUMENTOS DE MEDIDA. ....	5
2.1. <i>Medidores de la precipitación.</i> .....	5
Pluviómetro. ....	6
Totalizador. ....	6
Pluvionivómetro. ....	6
Nivómetro. ....	6
2.2. <i>Medidores de nivel.</i> .....	6
Escala hidrométrica. ....	7
Flotador. ....	7
Neumático. ....	8
Piezométrico. ....	8
Ultrasónico. ....	8
2.3. <i>Medidores de velocidad en continuo.</i> .....	9
Molinete permanente. ....	9
Efecto Doppler. ....	9
Ultrasónico. ....	9
Electromagnético. ....	9
2.4. <i>Medidores de caudal.</i> .....	10
2.5. <i>Medidores de la calidad de las aguas.</i> .....	10
2.6. <i>Recolectores de datos.</i> .....	10
Registrador sobre papel. Limnógrafo. ....	10
Registrador electrónico. ....	11
2.7. <i>Sistemas de transmisión de los datos.</i> .....	11
Correo. ....	11
Línea punto a punto. ....	11
Línea telefónica. ....	12
Radio. ....	12
2.8. <i>Medidores para aforos directos.</i> .....	12
Flotador. ....	12
Tubo de Pitot. Tubo de Darcy. ....	12
Molinete. ....	13
Efecto Doppler. ....	13
Electromagnético. ....	13
Vertedero portátil precalibrado. ....	13
Volumétrico. ....	13
3. REDES. ....	14
3.1. <i>Red oficial de Estaciones de Aforo (ROEA).</i> .....	14
3.2. <i>Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH).</i> .....	14
3.3. <i>Red integrada de la Calidad de las Aguas (ICA).</i> .....	15
Aguas superficiales. ....	15
Aguas subterráneas. ....	15
3.4. <i>Programa para la Evaluación de los Recursos Hídricos procedentes de la Inivación (ERHIN).</i> .....	15
3.5. <i>Red Oficial de Control de las Aguas Subterráneas (ROCAS).</i> .....	16
<b>TIPOLOGIA DE ESTACIONES DE AFORO. CRITERIOS PARA SU DISEÑO. ....</b>	<b>17</b>
1. LA ESTACION DE AFOROS. FINALIDAD. ....	18
2. CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE LA ESTACION DE AFOROS. ....	18

2.1.	<i>Fidelidad.</i>	18
2.2.	<i>Sensibilidad.</i>	19
2.3.	<i>Estabilidad.</i>	19
2.4.	<i>Accesibilidad.</i>	19
2.5.	<i>Protección frente a avenidas.</i>	19
2.6.	<i>Protección frente a erosiones y aterramientos.</i>	20
2.7.	<i>Facilidad de lectura de escala.</i>	20
2.8.	<i>Posibilidad de aforo directo.</i>	20
2.9.	<i>Adecuación con otras redes de medida.</i>	20
2.10.	<i>Adecuación con la normativa medio ambiental.</i>	21
2.11.	<i>Adecuación al tipo de explotación y mantenimiento.</i>	21
2.12.	<i>Economía.</i>	21
2.13.	<i>Adaptación a la topografía.</i>	21
3.	TIPOLOGIA DE LAS ESTACIONES DE AFORO	22
3.1.	<i>Cauce natural.</i>	23
	Escala hidrométrica.	23
	Escala hidrométrica con registro continuo.	23
3.2.	<i>Cauce natural con canalización marginal.</i>	23
	Canalización en una margen.	24
	Canalización en ambas márgenes.	24
3.3.	<i>Canalización total.</i>	24
	Vertedero de pantalla aireado.	24
	Vertedero en pared gruesa.	25
	Vertedero de escalón aireado.	25
	Varios vertederos.	25
	V-Flat.	25
	Venturi. Parshall.	26



CAUDALES EN RÍOS.  
INSTRUMENTOS DE MEDIDA Y  
REDES.

## 1. Caudales en ríos.

Una de las partes del ciclo hidrológico es la precipitación de agua en forma líquida o sólida, lluvia, nieve o granizo. Al llegar al terreno, una porción de esta precipitación circula sobre él, escorrentía superficial, y da lugar a la formación de barrancos, arroyos y ríos.

Otra porción se infiltra en el terreno y llega a formar parte del agua contenida en los acuíferos, que en determinadas circunstancias circula por conductos, constituyendo ríos subterráneos. Parte de esta circulación subterránea aflora en fuentes y manantiales, que también dan lugar a la formación de arroyos y ríos.

De los caudales circulantes por los ríos, parte se deriva por canales y parte se almacena en los lagos, lagunas y embalses. El control de estos caudales se realiza en las estaciones de aforo, que forman en su conjunto la infraestructura de medición.

Las diversas estaciones de aforo se agrupan en distintas redes, según su dedicación, y tienen instalados diversos tipos de sensores, para obtener de ellos la información necesaria que permita calcular los datos necesarios según su finalidad.

## 2. Instrumentos de medida.

En este punto se analizan los distintos tipos de sensores que se utilizan para la medida de las variables hidrológicas relacionadas con la parte del ciclo hidrológico que nos ocupa. Se analizan por una parte los tipos de sensores que se utilizan para la medida en continuo y por otra los que se utilizan para las medidas puntuales directas de determinación de caudales, aforos directos, necesarios para controlar la equivalencia altura-caudal de las estaciones de aforo.

Los procedimientos de medida pueden ser mecánicos, eléctricos o electrónicos. Los que utilizan principios de medida eléctricos o electrónicos para estas determinaciones, pueden dar lugar a dos tipos de señal o de salida, que para determinadas utilidades resulta importante su análisis. Si la señal es continua se denomina analógica y si la señal se produce con escalones, aun cuando estos sean todo lo pequeños que queramos, se denomina digital.

Dada la importancia que hoy día ha alcanzado la transmisión de los datos, se realiza un apunte sobre los distintos sistemas de acumulación de datos y de transmisión.

### 2.1. Medidores de la precipitación.

La medida de la precipitación líquida y sólida y su evolución en el tiempo, es fundamental para la predicción de los posibles caudales circulantes por los ríos y para el conocimiento del comportamiento de las cuencas de aportación; con los datos de precipitación se trazan los mapas de isoyetas, y a partir de éstos se calculan los coeficientes de escorrentía y los déficit de escorrentía, entre otros.

### ***Pluviómetro.***

La medida de la precipitación líquida la proporciona el pluviómetro, que consiste en un recipiente en el que se almacena la precipitación y una probeta graduada. La gráfica de precipitación en el tiempo se obtiene del pluviógrafo, aparato de aspecto externo similar al anterior, en cuyo interior se encuentra un sifón que vacía la lluvia acumulada cuando se alcanza cierta cantidad. Los pluviómetros que se utilizan para transmisión de datos tienen en su interior un depósito doble en forma de balancín que produce un impulso eléctrico cada cierta cantidad de lluvia, o bien mide el número de gotas de agua que caen por un orificio, en un tiempo determinado, proporcionando una señal digital.

### ***Totalizador.***

Es un pluviómetro de gran tamaño, en cuyo interior se depositan ciertas sales para impedir la congelación y la evaporación del agua recogida. Se instalan en zonas de alta montaña de difícil acceso y se revisan una o dos veces al año.

### ***Pluvionivómetro.***

La medida de precipitación líquida y sólida, nieve fundamentalmente, se realiza con un pluviómetro, en cuyo interior se han depositado sales, y la probeta. Para transmisión de datos se utilizan aparatos similares a los de balancín o goteo, a los que se les complementa con un elemento calefactor; en circunstancias muy especiales la columna de aire caliente generada puede producir una distorsión de la medida. El pluvionivómetro de pesada es similar al totalizador, complementado con un sistema que mide el peso total del recipiente, y proporciona una señal analógica; no produce distorsión de la medida.

### ***Nivómetro.***

La medida del espesor de la nieve almacenada sobre el terreno se realiza con pértigas graduadas; este procedimiento no nos permite conocer la cantidad de agua equivalente si no se dispone de la densidad de la nieve, que se puede determinar mediante sondeos manuales.

Los telenivómetros son aparatos que transmiten el peso de la columna de nieve, como el de colchón, o un perfil de densidades y espesores, como el de rayos gamma, entre otros. Actualmente se está desarrollando un sistema basado en la medida de espesores y radiación cósmica.

## **2.2. Medidores de nivel.**

En las estaciones de aforo se registra generalmente el nivel del agua y su evolución en el tiempo, dato con el que a través del tarado, equivalencia nivel-caudal, se obtiene el caudal y como consecuencia la aportación. La medida del nivel nos permite también la realización de previsiones durante las avenidas, en puntos situados aguas abajo del considerado.

En ciertas condiciones la relación nivel-caudal no es biunívoca, por lo que a un nivel no le corresponde siempre el mismo caudal. Esto puede ocurrir en aquellas estacio-

nes que están afectadas por remansos, cosa frecuente en canales, en los que la explotación idónea es la de conducir la cantidad de agua necesaria pero con el nivel máximo posible, para que llegue siempre a las tomas más altas. También en las estaciones de aforo situadas en las proximidades de confluencias o desembocaduras pueden producirse fenómenos de remanso; tienen especial significación los producidos por la influencia de las mareas, al ser periódicos. En estos casos es necesario recurrir a medir además del nivel, otra variable que nos permita determinar cual es el caudal en cualquier circunstancia. Esta segunda variable es la velocidad del agua en un punto, banda o sección, que sea representativa de la circulación general.

Existen varios procedimientos de medida del nivel de agua, unos realizan la medida desde el exterior de la masa de agua, otros desde el interior y otros desde la superficie.

### ***Escala hidrométrica.***

La escala es la esencia de la estación de aforos y a ella se deben de referir todos los registros y datos de niveles de agua.

Una simple escala colocada en una sección de un río, con una atención adecuada, puede proporcionar unos datos representativos de los niveles de la corriente. Este tipo de instalación proporciona información cada vez que se observa directamente por una persona; es una información discontinua, que en determinados casos puede dar datos suficientes para conocer la evolución de los caudales circulantes, siempre que se disponga del tarado de la estación.

### ***Flotador.***

Un flotador puede seguir las variaciones del nivel de la superficie del agua. Si se conecta a un contrapeso mediante una sirga, fleje o cadena metálicos, que se hace pasar por una polea, los desplazamientos del flotador hacen girar la polea. Este procedimiento requiere un pozo vertical. La polea puede unirse a un eje con una entalladura helicoidal, por la que circula un cursor que desplaza un lápiz, pluma de tinta o rotulador, que marca sobre un papel. Con este principio funcionan los limnógrafos, aparatos de utilización clásica en hidrometría, que proporcionan unas bandas de papel en las que se dibuja la variación del nivel en el tiempo. El desplazamiento en el tiempo se produce mediante el giro de un reloj. Este aparato proporciona una información del nivel analógica, ya que es continua en el tiempo.

Si el sistema flotador-contrapeso-polea se une a un aparato que con el giro de un eje desplaza un contacto sobre una resistencia eléctrica circular, tenemos un codificador angular resistivo. Si en lugar de la resistencia colocamos un condensador, se tiene un codificador angular capacitivo. Estos dos aparatos proporcionan una información del nivel de tipo analógico.

Con el mismo sistema, pero acoplado al eje de giro un sistema mecánico de levas, que abren y cierran determinados contactos, se tiene un codificador angular de contactos de tipo digital, ya que proporciona una información que se modifica cuando se abre o cierra un determinado contacto y esto se produce cada vez que se supera cierto intervalo, por lo que resulta una medida con escalones, no continua. Otro sistema de accionar los contactos consiste en sustituir las levas por unos imanes.

El codificador angular óptico es un aparato que funciona de manera análoga al de contactos; sustituyendo estos por unos leds que iluminan unos receptores sensibles; la codificación se introduce mediante una placa que gira y que tiene unas ranuras por las que deja pasar la luz, iluminando determinados receptores en función de su posición. La información que proporciona es también de tipo digital.

Si el flotador lo unimos a un brazo que se articula en el otro extremo, obtenemos otro sistema de medida, ya que la modificación del ángulo del brazo proporciona el dato de nivel. Según el tipo de codificador angular que coloquemos en el punto de giro del brazo, tendremos una información de tipo digital o analógico. Generalmente este sistema viene complementado con un procedimiento para medir la velocidad del agua.

### ***Neumático.***

El procedimiento neumático de medida no precisa pozo vertical. Consiste en hacer burbujear un gas, generalmente nitrógeno o aire, por el extremo de un tubo sumergido en el agua. La presión necesaria para que el gas burbujee por el extremo del tubo es proporcional a la columna de agua en ese punto, por lo que proporciona la medida del nivel del agua. Esta presión se lleva a un pistón que acciona sobre uno de los brazos de una balanza; en el otro brazo se desplaza un contrapeso mediante un servomotor, hasta que la balanza se equilibra horizontalmente. Este desplazamiento se transmite a un limnógrafo, con lo que se obtiene un limnógrafo neumático.

Si el desplazamiento se transmite a un codificador angular, obtendremos una señal analógica o digital según el tipo de codificador conectado.

Este procedimiento neumático también se emplea transmitiendo la presión a un recinto cerrado en el que se coloca un sensor piezométrico, que nos proporciona el dato de nivel mediante una señal analógica.

### ***Piezométrico.***

Los sensores piezométricos tienen un aspecto fusiforme o cilíndrico, en uno de cuyos extremos se encuentra el lugar por donde recibe la presión de la columna de agua que mide y en el otro esta la salida del cable de alimentación y conducción de la señal. Se pueden utilizar varios principios de medida, tales como la variación de resistencia eléctrica de un elemento, la variación de la frecuencia de vibración de un cristal de cuarzo o de una cuerda metálica vibrante, o la variación de la capacidad de un condensador, frente a las variaciones de presión. La señal que proporcionan es de tipo analógico.

### ***Ultrasónico.***

Este tipo de sensor emite un tren de ondas que al reflejarse en una superficie y retornar es detectado por un receptor; la electrónica del sensor calcula el espacio recorrido por las ondas, midiendo el tiempo de tránsito, y en función de otros datos fijos relacionados con el punto de colocación, calcula el nivel de la superficie del agua. Ciertos modelos de este tipo de sensores se colocan por encima del nivel máximo del agua, realizando la medición desde el exterior; otros modelos se colocan en el fondo del río o canal y miden desde el interior de la masa de agua. Este sensor proporciona una señal analógica.

Dada la diversidad de factores que pueden distorsionar la medida, temperatura, humedad, etc., ciertos modelos incorporan un sistema de ajuste automático o autocorrec-



ción, como puede ser un reflector colocado a una distancia conocida, con el que recalibran automáticamente los coeficientes de cálculo cada cierto intervalo.

### **2.3. Medidores de velocidad en continuo.**

Existen varios procedimientos para la medida de la velocidad del agua en continuo; unos realizan la medida en un punto, otros en una banda, generalmente horizontal, y otros en una sección de la masa de agua circulante. A partir de este valor se calcula la velocidad media en la sección de medida, que junto con el valor del nivel, permite el cálculo del caudal circulante por la estación de aforo.

#### ***Molinete permanente.***

Una hélice o una rueda de cazoletas unida a una pequeña dinamo, proporciona una señal eléctrica con la que se puede calcular la velocidad en un punto de la corriente del agua. La señal proporcionada es analógica.

Una rueda de paletas, cuyo eje conforma un flotador, que gira semisumergida en la superficie del agua unida a una dinamo, permite conocer la velocidad puntual de la misma con una señal de tipo analógico. Generalmente este sistema viene complementado con el brazo articulado comentado anteriormente, que proporciona el dato de nivel mediante la modificación de su ángulo.

#### ***Efecto Doppler.***

La velocidad en un punto se mide con un sensor que contiene un emisor-receptor y un microprocesador que la calcula mediante la emisión de trenes de ondas que se reflejan en las partículas circulantes en el agua y son seguidamente captados. El análisis de las frecuencias proporciona el dato de velocidad. El principio de medida es analógico, pero el sistema puede proporcionar una señal analógica o digital.

#### ***Ultrasónico.***

Este tipo de mediciones requiere una instalación más compleja consistente en dos emisores-receptores de ondas que se colocan uno en cada margen de la sección de medida; se unen mediante cables eléctricos a un sistema electrónico de control, que emite trenes de ondas por uno de los emisores actuando el otro como receptor; a continuación se realiza la emisión a la inversa, el que acaba de funcionar como receptor emite, recibiendo el anteriormente emisor; el sistema electrónico, que generalmente contiene un microprocesador, calcula la velocidad del agua en la banda atravesada por el tren de ondas en función de la diferencia entre los tiempos de tránsito de las ondas en cada sentido. El principio de medida es analógico, pero el sistema puede proporcionar una señal analógica o digital.

#### ***Electromagnético.***

Este sistema requiere una instalación muy compleja consistente en una bobina eléctrica instalada de manera que genere un campo magnético que atraviesa toda la corriente de agua; este campo magnético genera una corriente eléctrica en la masa de agua que se recoge mediante dos electrodos instalados uno en cada lateral de la sección de

control; esta señal es analizada por un sistema electrónico, que calcula la velocidad media del agua circulante. El principio de medida es analógico, pero el sistema puede proporcionar una señal analógica o digital.

## 2.4. Medidores de caudal.

Los medidores de caudal, conocidos como caudalímetros, son sistemas complejos en los que siempre hay un microprocesador que calcula el caudal en función de cierta información fija y otra variable proporcionada por sensores.

Un tipo de caudalímetro muy común consiste en un microprocesador que almacena la fórmula del gasto de una sección de aforo y está conectado a un sensor de nivel. Otro tipo consiste en un microprocesador que almacena la forma de la sección de aforo y está conectado a un sensor de nivel y a otro de velocidad del agua. Ambos pueden calcular el caudal circulante.

## 2.5. Medidores de la calidad de las aguas.

La calidad de las aguas es un tema que actualmente tiene una enorme consideración. Por ello se han desarrollado una serie de sensores que miden de manera continua ciertos parámetros físico-químicos o componentes de las aguas, como puede ser la turbidez, temperatura, pH, dbo, salinidad, diversos iones, etc. El tema no es específico de esta conferencia, pero se ha querido enumerar por la importancia y la proximidad con los temas de cantidad, que son los que fundamentalmente se tratan.

## 2.6. Recolectores de datos.

Estos sistemas adquieren los datos a través de ciertos sensores y son los que almacenan los datos y en su caso los transmiten a distancia.

Podemos clasificar estos aparatos en dos tipos atendiendo al soporte de la información: registros sobre papel y registros en soporte electrónico.

### ***Registrador sobre papel. Limnógrafo.***

Es el recolector de datos que más se ha utilizado en hidrometría clásica. Consiste en un eje con una entalladura helicoidal por la que se hace circular un cursor que desplaza un lápiz, pluma de tinta o rotulador, que marca sobre un papel. Este eje está unido a una polea que es accionada por una sirga, fleje o cadena unida a una boya y un contrapeso; el ascenso o descenso de la boya hace girar a la polea y al eje solidario a la misma, produciendo el desplazamiento del cursor que soporta el marcador que dibuja sobre un gráfico. Por otro lado un reloj arrastra el gráfico a una velocidad constante en el tiempo. Estos dos movimientos realizados en ejes perpendiculares producen un dibujo sobre el gráfico, el limnograma, que representa la evolución del nivel en el tiempo.

### ***Registrador electrónico.***

Es un aparato electrónico que unido a algunos sensores recoge la información procedente de estos, la almacena, la presenta y la transmite, en ciertos casos de forma automática. Se basa en un microprocesador programado y una serie de circuitos electrónicos que almacenan la información, facilitan la conexión a los sensores, a la energía, a los sistemas de transmisión, etc.

Estos aparatos se programan de manera que cada cierto intervalo de tiempo adquieren los datos, los controlan y elaboran, los almacenan y en su caso los transmiten.

## **2.7. Sistemas de transmisión de los datos.**

La transmisión de los datos se puede realizar de forma clásica, a través de correo con intervención humana, o de manera automática, a través de líneas punto a punto, líneas telefónicas, o procedimientos radioeléctricos.

### ***Correo.***

La transmisión clásica de los datos al centro de tratamiento de la información se realiza mediante la recogida del soporte que los contiene por una persona, transportándolos o depositándolos en un correo que los lleva hasta su destino. Este es el caso de los limnigramas, registros sobre papel, que contienen la información captada por los limnigrafos, o de los acumuladores de datos que almacenan la información en tarjetas electrónicas extraíbles, o de los acumuladores que vuelcan la información almacenada a sistemas externos que se conectan, como puede ser un ordenador portátil.

### ***Línea punto a punto.***

Consiste en la utilización de líneas cableadas con dedicación exclusiva para la transmisión de los datos. Se utiliza en instalaciones industriales donde los recorridos cableados tiene longitudes reducidas, o en el propio caso de las estaciones de aforo, en la conexión del sensor con el acumulador de datos.

Un caso especial de transmisión con utilización de líneas punto a punto de uso no exclusivo es el que realizan ciertas compañías productoras de electricidad que utilizan también las líneas de transporte de energía para transmitir los datos. Para ello codifican las señales y las mezclan con la energía eléctrica; en otro punto del cable, las separan y descodifican, recuperando así los datos en el punto de destino.

La señal eléctrica o electrónica que proporciona un sensor puede ser de dos tipos: analógica o digital.

La señal analógica es continua y acotada entre determinados valores de voltaje o de intensidad de corriente eléctrica. Se conduce mediante cables eléctricos de dos conductores. Para proteger la señal se utilizan cables apantallados. La señal cuyo umbral inicial es distinto de cero es más segura, pues elimina la posibilidad de confusión de dato cero con la posibilidad de cable cortado, ya que nunca el dato cero puede confundirse con la ausencia de señal que proporciona el cable cortado.

La señal digital es discontinua y se produce con escalones, aun cuando estos sean todo lo pequeños que queramos. Se produce cuando en ciertos conectores hay o no hay corriente o señal. Se conduce mediante cables eléctricos con muchos hilos conductores; uno de ellos, denominado común, es el que proporciona la energía al sensor y el resto de los cables retornan con o sin señal eléctrica. De esta manera tenemos una serie de cables con señal y otros sin ella, con lo que podemos obtener un código en ceros y unos; mediante una codificación preestablecida, se transmiten códigos que representan los valores. Así un sensor que en función de cierta posición abre o cierra una serie de contactos, produce una señal eléctrica en cada cable unido a un contacto cerrado y otra serie de cables no tienen señal por que su contacto esta abierto.

### ***Línea telefónica.***

La utilización de las líneas telefónicas permite la transmisión de datos a largas distancias. Los recolectores de datos están equipados con ciertos circuitos electrónicos, llamados módem, que permiten la conexión a este tipo de líneas.

### ***Radio.***

La utilización de ondas de radio para la transmisión de datos a larga distancia es un procedimiento usado por ciertos sistemas. Mediante una serie de repetidores de radio terrestres o mediante la utilización de un satélite como único repetidor, se pueden transmitir datos en grandes cantidades y en espacios pequeños de tiempo. Para ello el acumulador de datos se conecta a un módem que acomoda los mensajes a los requerimientos del equipo de radio.

## **2.8. Medidores para aforos directos.**

En este punto se enumeran distintos aparatos utilizados para la medición directa del caudal circulante por una sección de un río o canal, aforo directo, medida utilizada también para establecer o comprobar la curva de gasto nivel-caudal.

Existen tres grupos: el grupo de medidores de la velocidad del agua en un punto, el vertedero portátil precalibrado y el depósito o recipiente de volumen calibrado.

### ***Flotador.***

Un flotador visible incorporado a la corriente, que discurre por un tramo de longitud conocida con circulación uniforme, durante un tiempo medido con un cronómetro, permite el cálculo de la velocidad del agua.

### ***Tubo de Pitot. Tubo de Darcy.***

Pitot ideó un procedimiento de medida de la velocidad del agua en un punto mediante la utilización de dos tubos doblados en ángulo recto, colocados verticales, uno con el doblez a favor de la corriente y el otro en contra de manera que el agua fluya en su interior. La diferencia de niveles proporciona el dato de velocidad.

Darcy ideó un perfeccionamiento del sistema anterior para facilitar la lectura, consistente en un émbolo para enrarecer el aire en el interior de los tubos y así poder rea-

lizar la lectura por encima del nivel del agua del río. En la actualidad este procedimiento no se utiliza.

### ***Molinete.***

El molinete desplazó a los tubos de Darcy por su facilidad de utilización.

Consiste en una hélice o rueda de cazoletas solidaria a un eje que acciona un contacto en cada giro. El contacto, que se acciona mediante una leva o un imán encastrado en el mismo eje, cierra un circuito y produce un impulso eléctrico. Contando el número de impulsos que se producen en un tiempo determinado por un cronómetro, podemos conocer la velocidad del agua en el punto de medición.

El molinete puede tener varias hélices intercambiables, más rápidas o más lentas para acomodarse a distintos rangos de velocidades, y puede tener distinto tamaño, para adecuarse al espesor de las láminas de agua a medir.

El molinete tiene que acompañarse con una serie de accesorios que permitan colocarlo en el punto de medición elegido, barras encastrables graduadas, torno portátil, torno de orilla, cola de estabilización, contrapesos, etc. y que permitan conocer las revoluciones en un tiempo, caja cuenta revoluciones, cronómetro, etc. Actualmente las cajas de conexiones utilizadas son muy sofisticadas, contienen las baterías, las fórmulas del molinete para sus distintas hélices, etc., pudiendo conectarse directamente a un ordenador portátil, que nos puede proporcionar un informe automático muy completo del aforo, incluso con gráficos.

### ***Efecto Doppler.***

La velocidad en un punto se mide con un sensor de tipo fusiforme que se coloca sobre una barra o colgado del cable de un torno. En su interior un emisor-receptor y un microprocesador calculan la velocidad mediante el análisis de las frecuencias de trenes de ondas emitidos que se reflejan en las partículas circulantes en el agua y son seguidamente captados.

### ***Electromagnético.***

La velocidad en un punto se mide con un sensor de aspecto externo similar a los modelos de efecto Doppler. En su interior hay un microprocesador y una bobina eléctrica generadora de un campo magnético que produce una corriente eléctrica proporcional a la velocidad del agua en el entorno. Esta corriente se recoge mediante dos electrodos instalados en los laterales y con ella se calcula la velocidad.

### ***Vertedero portátil precalibrado.***

La determinación de pequeños caudales se puede realizar con diversos tipos de vertederos prefabricados transportables, con tarado conocido. El tarado se realiza generalmente utilizando procedimientos volumétricos.

### ***Volumétrico.***

Si se conoce el volumen de un depósito o recipiente, fijo o transportable y se dispone de un cronómetro que nos permite medir el tiempo transcurrido para su llenado, por

simple división obtenemos el caudal que circula hacia el depósito. El método se utiliza generalmente para determinar caudales muy pequeños.

### 3. Redes.

Existen varias redes de medida de caudales y volúmenes de agua y de su calidad, que vienen siendo mantenidas por las distintas Confederaciones Hidrográficas y la Dirección General de Obras Hidráulicas del Ministerio de Medio Ambiente.

#### 3.1. Red oficial de Estaciones de Aforo (ROEA).

Esta red agrupa las estaciones de aforo que se utilizan para tener una información básica sobre los recursos en las distintas cuencas hidrográficas. Sus datos se publican en los Anuarios de Aforos de la Dirección General de Obras Hidráulicas del Ministerio de Medio Ambiente. La Dirección General de Obras Hidráulicas tiene encomendada por Decreto la explotación, mantenimiento y conservación de estas estaciones de aforo a las Confederaciones Hidrográficas.

La ROEA agrupa a las estaciones de aforo en tres capítulos según se ubiquen en ríos, en canales o en embalses.

#### 3.2. Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH).

El SAIH es una red de telemedida y telecontrol, zonificado por cuencas hidrográficas, que capta ciertas variables hidrológicas o de control en una serie de estaciones de medida, las trasmite mediante una red de comunicaciones vía radio, por repetidores terrestres o por satélite, y las procesa en tiempo real en un centro de control, presentándolas de forma útil para los diversos usuarios de esa información.

Agrupa a una serie de estaciones de medida de la precipitación, tanto líquida como sólida, y de estaciones de aforo ubicadas en ríos, canales o conducciones y azudes o embalses, para el control del nivel, caudal o volumen. En los canales, conducciones, azudes y embalses se controlan además las posiciones de compuertas y válvulas, para permitir el conocimiento de los caudales circulantes. También agrupa estaciones de medida de variables climáticas y ambientales y en la cuenca del Ebro se incluyen algunas estaciones de calidad de aguas. Algunas de las estaciones de aforo pertenecen a la ROEA.

Los objetivos fundamentales del SAIH son:

El seguimiento de las avenidas para realizar previsiones y actuaciones encaminadas a minimizar los daños causados por las mismas.

La gestión global de los recursos hídricos con el fin de optimizar su asignación y explotación.

### 3.3. Red integrada de la Calidad de las Aguas (ICA).

La red ICA se divide en dos grupos, aguas superficiales y subterráneas, que abarcan a las distintas subredes que han ido apareciendo para adaptarse a las necesidades de control y a la normativa comunitaria europea. El control se realiza analizando la cuantía de diversas propiedades físico-químicas de las aguas, como puede ser la temperatura, turbidez, ph, conductividad, etc. y de diversos componentes como el oxígeno, algunos cloruros, ciertos iones, etc.

#### *Aguas superficiales.*

Esta red incluye todas las estaciones de control de calidad de las aguas superficiales que pueden pertenecer a una o varias de las subredes que la componen. En cada una de ellas se realizan como mínimo, y en los periodos indicados, las determinaciones que se especifican en las distintas directivas o instrucciones.

- Control General de Calidad (COCA).
- Control de Abastecimiento de Agua Potable a Poblaciones (ABASTA).
- Control de la Protección de la Vida Piscícola (PECES).
- Sistema Automático de Información de la Calidad de las Aguas (SAICA).

El SAICA realiza una transmisión de datos de calidad de aguas similar a la realizada por el SAIH con los de cantidad.

#### *Aguas subterráneas.*

Esta red incluye todos los puntos de control de calidad de las aguas subterráneas. Se realizan las determinaciones precisas sobre muestras extraídas en un punto de un acuífero, que sean representativas del agua circulante.

### 3.4. Programa para la Evaluación de los Recursos Hídricos procedentes de la Inivación (ERHIN).

El ERHIN es un Programa de Estudios sobre nivología y glaciología en España. Para ello controla los espesores de nieve en las cordilleras de los Pirineos, del Cantábrico y de Sierra Nevada con una serie de pértigas, que se leen dos o tres veces al año. También se dispone de algunos telenivómetros que transmiten datos de espesores, densidades y temperaturas.

Utiliza además datos procedentes de la ROEA para determinar los caudales de origen nival drenados por ciertas cuencas.

Dentro de este Programa se han desarrollado tres modelos matemáticos. El **Estacional Determinista** y el de **Predicción Probabilista** que cuantifica las reservas nivales y finalmente el **ASTER**, que es un modelo de simulación diaria de la cantidad de nieve y la fusión que se produce, utilizando datos de temperatura y pluviometría, que además es predictivo y fácilmente ajustable.

### 3.5. Red Oficial de Control de las Aguas Subterráneas (ROCAS).

La red controla la **piezometría** en diversos puntos de los acuíferos.

También controla la **hidrometría** de ciertas **surgencias y manantiales** con instalaciones específicas o con la utilización de datos procedentes de la ROEA incluso para determinar caudales diferenciales de surgencias en los cauces de los ríos.

eoii





# TIPOLOGIA DE ESTACIONES DE AFORO. CRITERIOS PARA SU DISEÑO.

## 1. La estación de aforos. Finalidad.

La finalidad de una estación de aforos es el conocimiento del caudal circulante. Para ello debe de permitir realizar el registro del nivel y la medición directa del caudal o aforo directo para cualquier nivel registrado. En algunas instalaciones con condiciones especiales se realiza también la medida de la velocidad del agua.

El registro del nivel de las aguas, es el dato continuo o casi continuo, referido a la escala limnimétrica, que nos permite establecer el nivel medio diario y el nivel máximo mensual, para luego obtener datos de caudales que finalmente se transforman en la estadística de niveles, caudales y aportaciones. También posibilita el seguimiento y la previsión en avenidas.

Los aforos directos, medidas directas de caudal a un determinado nivel, son los datos discontinuos que nos permiten establecer la relación altura-caudal basada en valores realmente medidos y el ajuste de los parámetros a utilizar en las fórmulas de extrapolación para el cálculo de esta relación en grandes alturas no aforadas directamente. La relación altura-caudal posibilita la obtención de caudales continuos o casi continuos a partir de los datos registrados de niveles, para el periodo de tiempo durante el que tiene validez; este procedimiento permite obtener la estadística de caudales y aportaciones.

Cuando por las especiales circunstancias de la estación de aforos no exista relación biunívoca entre la altura y el caudal, se recurre además a la medida de la velocidad del agua, posibilitando así la determinación fidedigna del caudal circulante.

## 2. Criterios para el diseño de la estación de aforos.

En este punto se analizan diversos criterios que proporcionan orientaciones sobre el diseño final de la estación de aforos.

### 2.1. Fidelidad.

El nivel registrado en la escala y en los aparatos de captación de datos debe de ser representativo de la circulación general y por lo tanto del caudal circulante en cualquier circunstancia.

La tipología de la estación debe de propiciar que los niveles en pozo o en el punto de captación del dato no resulten alterados por el oleaje, por las perturbaciones localizadas, por el paso de remolinos arrastrados por la corriente de agua o por una inadecuada comunicación del punto de registro con el río.

## 2.2. Sensibilidad.

Se deben de poder detectar cambios mínimos en el nivel y por lo tanto en el caudal, según los requerimientos. La variación de un centímetro en el nivel no debe de producir un incremento inaceptable en el caudal.

En general se toma el centímetro como variación mínima práctica en la medida de los niveles. Estos cambios se detectan con un adecuado diseño de los vertederos, de manera que al variar un centímetro la altura, se produzca un incremento de caudal dentro de la precisión esperada.

## 2.3. Estabilidad.

La circulación de las aguas en la estación de aforos debe de realizarse en régimen lento, evitando siempre la posibilidad de cambio de régimen, ya que para el paso de régimen rápido a lento se tiene que producir resalto hidráulico, presentándose en general el resalto ondulado, lo que origina una situación en la que no existe relación biunívoca entre la altura y el caudal.

Se debe de limitar la pendiente longitudinal en el tramo de la estación para evitar circulaciones en régimen rápido.

## 2.4. Accesibilidad.

La tipología de la estación debe de permitir un fácil acceso a la misma en todas las circunstancias, incluso en situaciones de avenida. La facilidad en el acceso a las distintas partes de la instalación debe de considerarse para evitar impedimentos o dificultades en la utilización por el personal de servicio.

Se debe de acceder a la estación al menos por un camino para todoterreno. El acceso desde el punto de aparcamiento a la caseta y desde esta al lugar de lectura de la escala, debe ser fácil y mínimo, y el acceso al pozo y a los vertederos, debe de presentar las mínimas dificultades posibles.

## 2.5. Protección frente a avenidas.

El diseño debe de tener en cuenta la circulación de los máximos caudales para que no sufran daño las distintas instalaciones y fundamentalmente los elementos de registro, que no deben de quedar inservibles por resultar sumergidos o afectados por las aguas, con lo que se pueden perder datos de gran valor. Los elementos flotantes y los arrastrados por el agua deben de tenerse en cuenta en el diseño para permitir su paso sin que se produzcan retenciones, sin que se alteren los datos y sin que se produzcan daños. Su estancamiento con obstrucción de la sección de desagüe produce alturas de agua anómalas, que falsean los datos de caudal real circulante.

La caseta y la pasarela deberán situarse por encima de las máximas avenidas históricas, o por encima de la avenida de 100 años de periodo de retorno. Los vertederos no

deben de tener muros ni muretes separadores. Se proyectarán únicamente los muros necesarios para apoyo de la pasarela con luces libres de al menos 15 metros.

## 2.6. Protección frente a erosiones y aterramientos.

La sección de desagüe no debe de variar con el tiempo, para que el tarado de la estación permanezca lo más estable posible durante la vida útil de la misma y se pueda tener una relación biunívoca altura-caudal.

El lugar elegido para la estación debe de ser estable. El diseño no debe de permitir que se altere ni el fondo ni la pendiente por erosión o aterramiento y no debe de resultar alterada ni degradada la obra de fábrica que controla el desagüe.

## 2.7. Facilidad de lectura de escala.

La escala en la que se leen los niveles de agua es la esencia de la estación de aforos. Todos los aparatos de registro deben de coincidir con el valor de su lectura. La facilidad de lectura de la escala es primordial para el correcto funcionamiento de la estación. La escala debe de colocarse de manera que las oscilaciones del agua resulten amortiguadas en su entorno y que su observación sea fácil, cómoda y se visualice sin inconvenientes.

La colocación de la escala debe de realizarse entre la puerta del pozo y a pasarela, balconcillo o puente que ocupe una sección análoga a la de la pasarela. La escala puede colocarse en otros lugares siempre que no aparezcan lecturas diferenciales con el registro del pozo y que su lectura y conservación sean fáciles.

## 2.8. Posibilidad de aforo directo.

La única forma de garantizar que el tarado de la estación es el adecuado, y no se están generando datos falsos, es la realización de aforos directos que deben de ser contrastados con los datos del tarado vigente para su validación o corrección. La tipología elegida debe de contemplar la incorporación al diseño de los elementos que permitan realizar aforos directos en cualquier circunstancia de circulación de agua.

La realización de aforos directos se facilita si se incorpora al diseño un perfil vadeable o un andador para realizar con precisión los aforos de aguas bajas y una pasarela o un teleférico, sobre una sección en donde el flujo sea lo mas uniforme posible. También se pueden realizar los aforos directos en una sección próxima en la que circule el mismo caudal, tales como vados o puentes.

## 2.9. Adecuación con otras redes de medida.

La existencia de estaciones de otras redes de medida, como la de información de la calidad del agua, la de información hidrológica automática, la de control de aguas subterráneas, u otras, puede permitir la unificación de soluciones y la utilización de elementos estándar.

Se recomienda realizar unas estaciones de aforo de propósito general y compatibilizar los usos de las estaciones para conseguir una mejor economía, así como unificar la tipología de todos los elementos posibles.

## **2.10. Adecuación con la normativa medio ambiental.**

La construcción de una estación de aforos debe ser respetuosa con el medio natural, minimizando su impacto negativo, por lo que se evitará su colocación en parajes en los que se produzca impacto sobre el medio natural o socioeconómico apreciable. Las principales afecciones de la construcción de una estación son la tala de árboles, la afección a las riberas, el impedimento en los desplazamientos de la fauna acuícola, y el impacto de la caseta de equipos y la pasarela en el entorno.

La tipología de la estación tiende a concentrar los caudales circulantes en un vertedero sensible que en su final presenta un salto reducido de unos 30 centímetros de altura, que puede ser superado con facilidad por los peces. No obstante debe estudiarse en cada caso las necesidades en función de las especies existentes. La revegetación de los taludes y la plantación de especies arbóreas que den sombra a los canales y vertederos, es una práctica recomendable para evitar el nacimiento de algas en las superficies de hormigón bajo las aguas.

## **2.11. Adecuación al tipo de explotación y mantenimiento.**

Los recursos disponibles para la explotación y mantenimiento de la estación pueden obligar a realizar diseños más desarrollados en determinados aspectos que cubran ciertas deficiencias posteriores, aun con pérdida de otras cualidades o con un coste económico superior.

Es importante conocer el tipo de instrumentación a instalar, para incorporar al diseño los elementos necesarios que permitan el buen funcionamiento de los sensores que captan las distintas variables. Por ejemplo, si se utiliza el sistema de boya y contrapeso, el diseño debe incorporar un pozo vertical.

## **2.12. Economía.**

La disponibilidad económica puede obligar a un tipo determinado de obra civil.

La instalación puede consistir desde una simple escala colocada adecuadamente, instalación muy económica, hasta un largo tramo canalizado, con vertederos, pozo de registro, caseta para alojar los equipos de medida y pasarela o teleférico para realizar aforos directos, instalación muy costosa.

## **2.13. Adaptación a la topografía.**

La topografía del tramo o del lugar en el que hay que realizar la estación de aforos puede obligar a determinado tipo de solución.

En tramos con grandes secciones y poca pendiente, solamente se puede realizar una obra marginal; en tramos con sección pequeña o encajada y fuerte pendiente, se puede realizar una instalación completa.

### 3. Tipología de las estaciones de aforo.

Las dos finalidades primordiales de una estación de aforos son el registro del nivel y la realización de aforos directos. Con la elaboración de estos datos se obtiene el nivel y el caudal circulante, que son la base de la estadística.

Para cada una de estas dos finalidades se precisan dos condiciones óptimas, que llevadas a la situación ideal son irreconciliables.

La situación ideal para obtener el nivel se produce en una zona remansada, en la que se amortiguan y desaparecen las oscilaciones propias de la superficie del agua en movimiento y en la que pequeñas variaciones de caudal produzcan grandes variaciones de nivel.

La realización de un aforo directo precisa una sección en la que el agua se concentre y registre una apreciable velocidad, en régimen lento; en esta circunstancia la medida de velocidad, por molinete o por medidores de velocidad electromagnéticos o de efecto Doppler, resulta fiable y satisfactoria, y la medida de espesores de agua también, siempre que la velocidad no sea excesiva.

La realización de aforos directos por dilución está indicada para tramos de río con circulación turbulenta, tramos en alta montaña o en el que existen grandes piedras que distorsionan fuertemente la circulación del agua. La turbulencia facilita la mezcla del trazador con la totalidad del agua circulante, lo que es necesario para conseguir un buen resultado.

De estas dos necesidades aparece un primer planteamiento que hay que decidir. Es preciso elegir entre instalaciones separadas, una para registro de niveles y otra para realizar aforos directos, o una única instalación en la que coexistan la posibilidad de registro y la posibilidad de realizar aforos directos con la precisión deseada.

Al realizar una estación de aforos en los ríos de alta montaña, se estabiliza un tramo del río consiguiéndose una circulación uniforme, por lo que se pueden realizar los aforos directos mediante molinete, sin que sea necesario recurrir a los aforos por dilución con inyección continua, que son los que dan una calidad aceptable y que precisan un tipo de instalación compleja para su correcta realización.

Si se realizan instalaciones separadas aparece un coste económico más grande de instalación y un coste económico más grande de mantenimiento.

Al realizar una instalación única en la que se consideren las necesidades de ambas finalidades, se tiene un coste de instalación inicial menor y un coste de mantenimiento menor. Con un diseño adecuado se pueden obtener unas condiciones muy aceptables en cuanto a sensibilidad y fidelidad de la estación.

En principio se acepta como más adecuada la solución unitaria en la que se contemple tanto el registro de niveles como la realización de aforos directos.

### 3.1. Cauce natural.

En ciertos tramos de río, que por su gran anchura, por condicionantes económicos u otras causas, no se puede establecer un tramo canalizado o encauzado, se puede proyectar una estación de aforos en cauce natural. Esta estación puede consistir en una simple escala; también puede estar acompañada de un registrador.

El establecimiento de una curva de gastos se puede basar en aforos directos para los caudales bajos y medios en los que es fácil realizar este tipo de mediciones. Las extrapolaciones para el cálculo de la parte alta de la curva de gastos se realizan en base a fórmulas de tránsito de caudales por cauces, similares a las utilizadas para canales, como pueden ser la de Bazin, Manning, HEC 2, etc., cuyos parámetros se ajustan en función de la topografía de la sección de medición, sección de escala en la que se registra el nivel, y de las pendientes y coeficientes de rugosidad. Los coeficientes estimados deben ajustarse para que el cálculo sea coincidente con los aforos directos más altos. Con este proceder se asegura la obtención de unos datos mejores, al estar basados en medidas directas, con lo que se representa de manera más fidedigna la realidad.

#### ***Escala hidrométrica.***

La escala es la esencia de la estación de aforos y a ella se deben de referir todos los registros y datos de niveles de agua.

Una simple escala colocada en una sección de un río, con una atención adecuada, puede proporcionar unos datos representativos de los niveles de la corriente. Este tipo de instalación proporciona información cada vez que se observa directamente por una persona; es una información discontinua, que en determinados casos puede dar datos suficientes para conocer la evolución de los caudales circulantes, siempre que se disponga del tarado de la estación.

Los aforos directos en aguas altas se pueden realizar desde un puente cercano por el que discurran los mismos caudales que por la sección de medida. En aguas bajas se pueden realizar utilizando una sección del río que sea vadeable.

#### ***Escala hidrométrica con registro continuo.***

Además de la escala se construye un casetón o caseta próximo a una margen, en cuyo interior se instala un aparato registrador basado en un principio de medida neumática o piezométrica, de manera que se obtiene un registro continuo de los niveles de agua circulantes. Con ello se consigue disponer de una información completa de la evolución de los niveles y por tanto de los caudales circulantes, siempre que se disponga del tarado de la estación.

### 3.2. Cauce natural con canalización marginal.

Cuando en un tramo de gran anchura hay una margen escarpada, o existe o se puede establecer un encauzamiento que mejora la circulación de las aguas, se pueden construir estaciones de aforos con canalización en una o en ambas márgenes, aun cuando no se modifiquen las condiciones naturales del fondo. Para que la estación funcione en buenas condiciones se precisa que las aguas circulen pegadas a una margen, lo que se

consigue buscando una ubicación adecuada o modificando ligeramente el cauce para que la fluencia en estiajes sea la requerida.

Los aforos directos se pueden realizar con procedimientos análogos al apartado anterior, ya que se trata de la misma problemática.

### ***Canalización en una margen.***

En ríos anchos se puede construir un muro marginal que delimita claramente la margen encauzándola en un tramo sobre el que se asienta la caseta para albergar los equipos. Generalmente este tipo de instalación permite la construcción de un pozo vertical, que conectado convenientemente con el río facilita el registro de los niveles de agua mediante un sencillo aparato muy utilizado en hidrometría y de poco coste, el limnógrafo. La escala se coloca en el propio paramento del muro.

Los aforos directos se pueden realizar desde un puente cercano o en una sección vadeable; también se pueden realizar desde un cable de orilla o desde un teleférico que se utiliza en el caso de ríos con gran anchura.

### ***Canalización en ambas márgenes.***

Esta solución contiene las instalaciones anteriores, completadas con un muro paralelo en la margen opuesta, que se realiza para delimitar totalmente la sección del río, lo que puede encauzar y concentrar las aguas en avenidas y facilitar la construcción de instalaciones específicas para practicar los aforos directos.

Los aforos directos se pueden realizar desde un puente cercano, desde una pasarela, desde un cable de orilla o desde un teleférico.

## **3.3. Canalización total.**

En este apartado se contemplan las distintas soluciones que estabilizan totalmente la sección de desagüe mediante obra de fábrica. En general consiste en la realización de un encauzamiento mediante dos muros marginales, a veces se establecen muros intermedios para apoyo de la pasarela cuando la anchura del tramo es superior a 25 o 30 m, y uno o varios vertederos que estabilizan el fondo de la sección de medida.

### ***Vertedero de pantalla aireado.***

Esta solución contempla la construcción de los muros anteriormente expuestos, con la caseta de equipos sobre el pozo, completada con un vertedero de pantalla aireado o viga vertedero que estabiliza totalmente la sección de desagüe en el tramo de aforos. Está especialmente indicada para ríos con arrastres en los que no nace vegetación.

Los caudales pequeños se miden con una gran precisión, al realizarse un vertido en lámina libre ventilada inferiormente, por lo que las condiciones de circulación se asemejan a la de los vertederos en pared delgada.

Los aforos directos se realizan desde un andador situado aguas abajo de la sección de vertido para caudales bajos, con lo que se consigue una gran precisión, y desde una pasarela para los caudales medios y altos.



### ***Vertedero en pared gruesa.***

Esta solución es similar a la anterior pero sustituyendo el vertedero de pantalla aireado por otro, que puede tener distintos tipos de perfil transversal, cuyo funcionamiento se asemeja mas a los vertederos en pared gruesa o incluso a perfiles del tipo Greager.

Para cierto tipo de perfiles, como los de forma triangular o similar, no se coloca andador para aforos directos, ya que no permiten la realización de estas medidas en sus proximidades.

Los aforos directos de aguas bajas se realizan en una sección vadeable y los de aguas medias y altas desde la pasarela.

### ***Vertedero de escalón aireado.***

Esta solución contempla la construcción de dos muros de encauzamiento lateral con caseta de equipos sobre el pozo de registro, completada con un vertedero de escalón aireado. La solera que estabiliza el fondo, impide el nacimiento de vegetación, por lo que la circulación del agua no queda afectada por el distinto desarrollo vegetativo estacional.

Los caudales pequeños se miden con una gran precisión, al realizarse un vertido en lámina libre ventilada inferiormente.

Los aforos directos se realizan desde un andador para aguas bajas y desde una pasarela para aguas medias y altas.

### ***Varios vertederos.***

Si la anchura de la estación lo requiere, se pueden establecer varios vanos con muros divisorios de luz libre no inferior a 15 m para apoyo de la pasarela. Se pueden establecer dos vertederos en un tramo, que corresponden al vertedero sensible y al de aguas medias, siendo de pantalla o de escalón con solera en función de las características del río. El resto de los vanos puede tener un único nivel de vertido, que funcionará durante las avenidas, por lo que teniendo en cuenta criterios de economía, se suele construir un vertedero de pantalla.

Los aforos directos se realizan desde un andador para aguas bajas y desde una pasarela, cable de orilla o teleférico para aguas medias y altas.

### ***V-Flat.***

Recientemente se están utilizando diseños de estaciones de aforo bajo la denominación genérica de V-Flat, que consisten en una sección de vertido en V, conformada sobre una viga de sección en V invertida. El diseño origina una garganta que incrementa su sensibilidad conforme circulan caudales más pequeños. Aguas arriba de esta sección se establece una zona de remanso, para que el agua entre en mejores condiciones en la garganta y la toma de datos se realice en una zona más tranquila. Aguas abajo está la zona de vertido, protegida con escollera.

En la margen se coloca una caseta que contiene los equipos de medida, generalmente instalados sobre un pozo que se conecta con el río.

La curva de gastos de estas instalaciones viene predeterminada si se realizan con arreglo a las medidas y especificaciones indicadas. Sin embargo puede aparecer discre-

pancias por las modificaciones que el propio río y sus arrastres producen en las instalaciones. Este tipo de instalaciones no resultan adecuadas para la realización aforos directos, puesto que el régimen de circulación es variado. Los aforos directos deben de realizarse en otras secciones próximas.

### ***Venturi. Parshall.***

Venturi diseño un tipo de estructuras para medidas en tuberías y en canales. En esencia, la medida en canales se basa en la realización de una contracción de la anchura del canal, para propiciar la aparición de una sección en régimen crítico, lo que permite determinar el caudal conociendo el nivel en una sección de aguas arriba.

Parshall mejoró el sistema anterior, que tiene poca sensibilidad, diseñando una estructura en la que se presenta una sección con circulación crítica seguida de un tramo con circulación supercrítica, finalizando en un tramo en donde aparece el resalto hidráulico. La instalación consta de un primer tramo aguas arriba con cajeros convergentes y solera horizontal, seguido de otro tramo con sección estrecha o garganta cuya solera se inclina a favor de la corriente, finalizando con un tercer tramo divergente con solera ascendente.

El caudal se calcula en función de la diferencia entre los niveles registrados en la entrada de la sección convergente y en la garganta. Los aforos directos deben de realizarse en otras secciones próximas.